

## Oportunidades e ameaças à contribuição da fixação biológica de nitrogênio em leguminosas no Brasil.

Nogueira, M.A. \*, Hungria, M.

Pesquisadores da Embrapa Soja. Caixa Postal 231. 86001-970 Londrina PR, Brasil.

\* marco.nogueira@embrapa.br

### RESUMO

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é o mais bem sucedido exemplo de aplicação biotecnológica na agricultura, principalmente na cultura da soja, que consome cerca de 95% dos inoculantes produzidos no Brasil. A FBN pode ser expandida para várias outras espécies leguminosas, tanto para culturas destinadas à produção de grãos, quanto espécies forrageiras, arbóreas ou adubos verdes, contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas de produção. Entretanto, algumas práticas como o uso de fertilizantes nitrogenados e inoculação inadequada das sementes têm colocado em risco a plena eficiência dessa técnica.

### INTRODUÇÃO

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é o segundo processo biológico de importância global, atrás apenas da fotossíntese, com cerca de 44 a 66 milhões de toneladas de N fixadas anualmente por leguminosas de importância agrícola, o que representa aproximadamente metade do N utilizado na agricultura (Graham & Vance, 2003). Um dos exemplos mais bem sucedidos da aplicação biotecnológica da FBN ocorre na cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill), especialmente no Brasil, em que o fornecimento de N é baseado nesse processo biológico (Hungria *et al.*, 2006). Estima-se que para a produção de 1.000 kg de grãos de soja sejam necessários 83 kg de N, ou seja, para rendimentos de 2.941 kg/ha, a produtividade média nacional estimada para a safra 2012/13 (Brasil, 2013), são necessários 244 kg/ha de N. Como, em média, a eficiência de aproveitamento dos fertilizantes nitrogenados é de 50%, seriam necessários 488 kg/ha de N mineral, o que ao custo atual superior a US\$ 1/kg de N-fertilizante, inviabilizaria economicamente a cultura (Hungria *et al.*, 2013b). Dados de ensaios conduzidos nos últimos 15 anos pela Embrapa confirmam, para as cultivares, estirpes de bactérias e condições brasileiras, aportes pela FBN que superam 300 kg de N/ha e com eficiência de utilização próxima a 100% (Hungria *et al.*, 2006). Mesmo para produtividades superiores a 5.000 kg/ha a FBN tem se mostrado suficiente para suprir a demanda da cultura da soja (Hungria *et al.*, 2006). Com isso, estima-se que a FBN resulte numa economia anual em torno de US\$ 7 bilhões para o Brasil, o qual importa 73% do fertilizante nitrogenado que consome. Além disso, o N deixado nos resíduos culturais da soja, de 20-30 kg de N/ha, pode contribuir para as cultura em sucessão, como por exemplo, milho de segunda safra e trigo (Hungria *et al.*, 2007).

### INOCULANTES PARA FBN EM LEGUMINOSAS NO BRASIL

Como a soja é uma espécie exótica, os solos brasileiros não possuem bactérias fixadoras compatíveis, conseqüentemente, indústrias de inoculantes foram estabelecidas no país e vêm fornecendo aos agricultores as melhores estirpes selecionadas pela pesquisa brasileira desde a década de 1960. Contudo, no início da década de 1990, a porcentagem de agricultores que utilizavam inoculantes vinha decrescendo, pela falta de pesquisas sobre a necessidade de inoculação anual. A Embrapa passou a conduzir pesquisas em todas as regiões produtoras do Brasil, totalizando mais de 150 ensaios, comprovando que a inoculação anual resulta em incrementos médios no rendimento de grãos da ordem de

8%, confirmando a importância da realização dessa prática em cada safra (Hungria *et al.*, 2006, 2007).

Estima-se que mais de 95% dos inoculantes à base de bactérias diazotróficas comercializados atualmente no Brasil destinam-se à cultura da soja. Entretanto, existem estirpes bacterianas diazotróficas selecionadas e autorizadas pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) para mais de 100 espécies vegetais (Brasil, 2011), indicando o grande potencial da extensão da FBN a outras culturas de importância econômica.

Mesmo para espécies vegetais originárias do continente Americano, como o amendoim (*Arachis hypogaea*) e o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*), para as quais são encontrados no solo rizóbios nativos capazes de nodulá-las, o uso de inoculantes contendo estirpes elite permite maior eficiência da FBN e, conseqüentemente, melhor suprimento de N às culturas, dispensando total ou parcialmente o uso de N mineral (Hungria *et al.*, 2013b).

Até 2000 os inoculantes comercializados no Brasil eram exclusivamente veiculados em turfa. Atualmente, mais de 80% são disponibilizados em formulações líquidas e geleificadas. A tecnologia tem ainda evoluído visando fornecer aos veículos substâncias adesivas protetoras que aumentam a sobrevivência das bactérias nas sementes e, conseqüentemente, aumenta a eficiência da inoculação frente a estresses osmóticos e causados por produtos químicos geralmente aplicados no tratamento de sementes.

Inovações tecnológicas têm se mostrado promissoras para aumentar a eficiência da FBN, como o uso de metabólitos microbianos adicionados a formulações de inoculantes (Marks *et al.*, 2013) e a co-inoculação com outros microrganismos, como *Azospirillum brasilense* (Hungria *et al.*, 2013a).

### **OPORTUNIDADES PARA FBN**

O governo brasileiro assumiu compromisso voluntário nas COP (Conferência das Partes) 15 (Dinamarca) e 16 (México) de redução de GEE (gases de efeito estufa) da ordem de  $1 \times 10^9$  toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>-e) até 2020, sendo que dentre as estratégias para atingir tal meta prevê-se o incentivo para expandir o uso da FBN em  $5,5 \times 10^6$  ha, com um potencial de mitigação de  $1 \times 10^7$  toneladas em CO<sub>2</sub>-e por ano, visto que para cada 100 kg de N mineral de origem fóssil são produzidos 937,5 kg de CO<sub>2</sub>-e. Esses compromissos foram ratificados na Política Nacional sobre Mudanças Climáticas pela Lei 12.187 de 2009 e regulamentados pelo Decreto 7390 de 2010. No que se refere aos compromissos do setor agrícola, foi estabelecido o “Plano Setorial para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura”, convencionada ao Programa ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). Pela primeira vez na história se tem a FBN como ferramenta de compromisso governamental.

A seleção de estirpes elite tem mostrado que a FBN pode substituir o uso de N-mineral no feijoeiro, mesmo para sistemas de produção altamente tecnificados visando produtividades elevadas, por exemplo, de 4000 kg/ha (Hungria *et al.*, 2013b), o que representa mais de quatro vezes a média nacional, cuja estimativa de área para a safra 2012/13 é de  $2,95 \times 10^6$  ha (Brasil, 2013). Entretanto, estima-se que pouco mais de 1% dessa área receba inoculação, o que mostra o grande potencial de expansão da FBN nessa cultura, o que permitiria ao governo brasileiro cumprir mais de 50% da meta de expansão da FBN como parte do Programa ABC (Hungria *et al.*, 2013b). Outras leguminosas como ervilha (*Pisum sativum*), lentilha (*Lens esculenta*), caupi (*Vigna unguiculata*), amendoim, leguminosas para uso como adubo verde, além de arbóreas destinadas ao reflorestamento também podem se beneficiar da FBN e já dispõem de estirpes elite para uso em inoculantes. A cultura de inoculação precisa ser estimulada, o

que gerará demanda para que as indústrias passem a produzir inoculantes destinados a outras leguminosas.

É importante ressaltar que o sucesso da FBN depende de aspectos que vão além da qualidade dos inoculantes e do emprego de boas práticas de inoculação. A inobservância de aspectos nutricionais pode comprometer a resposta à FBN. No ambiente tropical é predominante a ocorrência de solos ácidos, altamente intemperizados e com baixos teores de matéria orgânica. Assim, calagem e o suprimento adequado de nutrientes como P, Ca e, sobretudo, Mo e Co estão diretamente relacionados à eficiência da FBN. O emprego do sistema de plantio direto na palha também traz grandes contribuições, uma vez que o mínimo revolvimento do solo e a manutenção de resíduos vegetais na superfície diminuem a oscilação de temperatura e umidade do solo, o que favorece a sobrevivência das bactérias diazotróficas.

### AMEAÇAS À FBN

Embora a inoculação seja uma técnica empregada há mais de 50 anos no sistema de produção de soja no Brasil, algumas boas práticas de inoculação têm sido negligenciadas e podem influenciar negativamente na eficiência da FBN. Dentre elas destacam-se a má homogeneização do inoculante nas sementes pela aplicação direta na caixa da semeadora, diluições de inoculantes, mistura com produtos químicos durante o tratamento de sementes e a oferta de sementes submetidas ao tratamento industrial com inoculação antecipada de até 30 a 60 dias. A ausência de legislação apropriada sobre esse assunto contribui para que a prática seja oferecida, mas não há qualquer garantia ao agricultor quanto à viabilidade das bactérias nas sementes. Essas práticas inadequadas são justificadas na maioria das vezes pela restrição cada vez maior de mão de obra disponível no campo e pela necessidade de se aproveitar uma janela de semeadura cada vez mais restrita nos sistemas de produção cada vez mais intensificados. O uso de tratamento de sementes com agrotóxicos incompatíveis com *Bradyrhizobium* diminui o número de células viáveis nas sementes. Resultados de uma década de pesquisas na Embrapa mostram que produtos utilizados para o tratamento das sementes podem matar até 98% dos rizóbios em apenas poucas horas. No caso da inoculação antecipada de sementes, a sobrevivência não foi aceitável em nenhum tratamento por períodos superiores a 10 dias, mesmo em condições ótimas de armazenamento em laboratório. Em todos os casos analisados, quando o produto preconizava sobrevivência das células inoculadas com 30 a 60 dias de antecipação, na presença de agrotóxicos, o número de células viáveis era próximo a zero, ou nulo. Para minimizar esses problemas, a pesquisa indica a inoculação com alta concentração de células, no máximo até 24 h antes da semeadura, ou ainda a inoculação simultânea no sulco de semeadura, evitando o contato direto com os produtos químicos, desde que se empregue dose de inoculante pelo menos 2,5 vezes maior que a recomendada para inoculação nas sementes, que é de  $1,2 \times 10^6$  células/semente (Campo *et al.*, 2010). No caso da inoculação antecipada, o uso de polímeros protetores celulares nas formulações de inoculantes têm se mostrado promissor, porém por períodos não superiores a 10 dias na presença de produtos químicos usados no tratamento de sementes.

Existe uma recorrente pressão de setores interessados no uso de fertilizantes nitrogenados na cultura da soja, alegando que altos rendimentos somente podem ser alcançados com a aplicação desse insumo para complementar a FBN. Contudo, resultados de pesquisas da Embrapa, com mais de 100 ensaios nos últimos 10 anos, indicam que a complementação com fertilizantes nitrogenados na semeadura (20 a 40 kg de N/ha), no início do florescimento (R2) (50 kg a 100 kg de N/ha), ou no enchimento dos grãos (R4) (50 kg de N/ha) resulta em decréscimos na nodulação, sem

trazer quaisquer benefícios ao rendimento, tanto em preparo de solo convencional, como em sistema plantio direto, bem como em cultivares transgênicas ou convencionais e com diferentes ciclos de maturação ou tipo de crescimento (Hungria *et al.*, 2006, 2007). O efeito mais drástico ocorre pela aplicação de N-fertilizante na semeadura, que prejudica a nodulação inicial, diminuindo a capacidade de estabelecimento da “indústria biológica”. Cabe também aos agricultores refletir sobre a real contribuição que 10-15 kg de N (uma vez que há perda média de 50%) poderiam dar para uma demanda média de 244 kg/ha de N.

### CONCLUSÕES

As tecnologias de formulação e inoculação têm evoluído nos últimos anos e permitem maior eficiência da FBN frente a estresses abióticos, como o uso de produtos químicos nas sementes.

Existe uma grande oportunidade de ampliação da adoção da FBN em leguminosas no Brasil pela existência de estirpes elite selecionadas pela pesquisa. Essa oportunidade tem ainda estímulo governamental frente ao Programa ABC.

O uso de tecnologias incompatíveis pode prejudicar os benefícios alcançados com mais de cinco décadas de pesquisa, validação e transferência de tecnologia sobre FBN em leguminosas no Brasil.

### REFERÊNCIAS

- Brasil (2011). Ministério da Agricultura. IN nº 10, de 13 de março de 2011.
- Brasil (2013). Companhia Nacional de Abastecimento-Conab. Séries históricas.
- Campo *et al.* (2010). *Rev. Bras. Ci. Solo* 34: 1103-1112.
- Graham, P.H., and Vance, C.P. (2003). *Plant Physiol.* 131: 872-877.
- Hungria, M., *et al.* (2006). *Can. J. Plant Sci.* 86:927-939.
- Hungria, M., *et al.* (2007). Embrapa Soja. Documentos, 283.
- Hungria, M., *et al.* (2013a). *Biol. Fertil. Soils* (on line).
- Hungria, M., *et al.* (2013b). Embrapa Soja. Documentos, 337.
- Marks, B.B., *et al.* (2013). *Appl. Microbiol. Biotechnol. Express* 3: 21.